

MOISTURE EFFECT ON ELECTRICAL PROPERTIES OF THE COMPOSITE EPOXY RESINS

Luděk Horák

Master Degree Programme (2.), FEEC BUT

E-mail: xhorak58@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jiří Kazelle

E-mail: kazelle@feec.vutbr.cz

Abstract: The thesis presented is focused on studying electroinsulating epoxy resin-based sealings. The aim of the thesis is to compare several sets of samples of composite epoxy resins with different kinds of micro-ground siliceous sand as a filling. The temperature and frequency dependence of relative permittivity and dissipation factor are measured for given samples.

Keywords: Epoxy resins, thermosets, polymers, electrical insulation materials, electrical properties, permittivity, dissipation factor, moisture

1. ÚVOD

Epoxidové pryskyřice jsou poměrně mladé plasty, první zmínky jsou zaznamenány v období druhé poloviny 19. století, ale jejich výroba se rozvinula až po druhé světové válce.

Jedná se o syntetické polymery, které patří do skupiny reaktoplastů. Jsou bezbarvé až nažloutlé a za běžných podmínek téměř neomezeně skladovatelné. Významných vlastností nabývají epoxidové pryskyřice až po vytvrzení, které nastává nejčastěji chemickou polyadiční reakcí - nedochází ke vzniku vedlejších produktů. Vytvrzené produkty mají velmi dobré elektroizolační a dielektrické vlastnosti, mechanickou pevnost, zejména pevnost ve smyku, chemickou odolnost vůči vodě, kyselinám i některým rozpouštědlům. Vynikají výjimečnou adhezí ke kovovým, skleněným, keramickým, dřevěným a jiným materiálům. Dále se epoxidy vyznačují velkou houževnatostí, malým smrštěním a některé druhy dobrou elasticitou. [1]

2. VZORKY CHS-EPODUR 494-1667

Vzorky pro měření elektrických materiálových veličin byly zhotoveny v laboratořích firmy SYNPO a.s. Pardubice. CHS-EPODUR 494-1667 (CHS = neplněná zalévací hmota, EPODUR = obchodní název, 494 = typ pryskyřice, 1667 = typ tvrdidla) je modifikovaná nízkomolekulární epoxidová pryskyřice, která se skládá z několika složek:

- složky A - epoxidová pryskyřice a polypropylenglykol - 100 hmotnostních dílů,
- složky B - tvrdidlo (tetrahydromethylftalanhydrid) - 85 hmotnostních dílů,
- složky C - urychlovač (benzyl dimethylamin) - 0,6 hmotnostních dílů,
- složky D - flexibilizátor (polyethylenglykol) - 17 hmotnostních dílů.

Dále se do systému přidává pigmentová pasta (E-Pasta BF 135 M-BA) - 3 hmotnostní díly. Skládá se z pigmentu a epoxidové pryskyřice, určuje výsledné zbarvení vytvrzeného kompozitu.

Poslední důležitou složkou je plnivo, přidává se ve formě mikromletého křemenného písku a výrazně snižuje náklady zalévací hmoty. Použité plnivo pro epoxidovou sadu 1851 je písek ST6 od firmy Sklopísek Střeleč - 382 hmotnostních dílů.

Vzniklé epoxidové desky tloušťky 2 mm byly rozřezány na čtvercové vzorky velikosti 80 x 80 mm (pro měřicí systém Tettex) a kruhové vzorky o průměru 35 mm (pro měřicí systém Novocontrol). Rez probíhal pomocí vodního paprsku ve spolupráci s firmou AWAC, spol. s r.o.

Pro měření je důležité, aby byly vzorky planoparalelní, proto z 10 čtvercových i kruhových vzorků bylo pro účely experimentu vybráno 5 vzorků s nejmenší směrodatnou odchylkou.

3. POPIS MĚŘENÍ

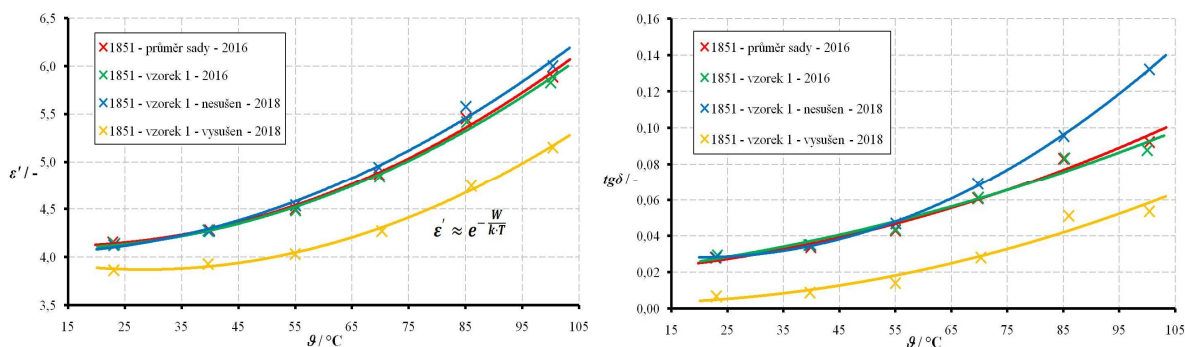
Cílem experimentu bylo zjistit, jak ovlivňuje vlhkost základní elektrické vlastnosti, relativní permitivitu a ztrátový činitel. Praktická část práce se zabývá opakovaným měřením teplotních závislostí na impedančním analyzátoru Tettex 2830/2831. Výsledky měření jsou následně graficky porovnány s výsledky naměřenými před dvěma lety. Vzorky byly uschovány za běžných podmínek, při pokojové teplotě 20 - 25 °C a relativní vlhkosti 30 - 50 %. Dále je proměřena závislost relativní permitivity, ztrátového čísla a ztrátového činitele na frekvenci pro vybrané hodnoty teplot pomocí dielektrického impedančního analyzátoru Novocontrol Technologies.

Měření relativní permitivity a ztrátového činitele v závislosti na teplotě probíhalo při pracovním napětí 500 V, frekvenci 50 Hz a přítlaku elektrod 5 N/cm² na impedančním analyzátoru Tettex 2830/2831 ve spojení s měřicím přípravkem Tettex 2914 dle normy ČSN IEC 250 [2]. Vzorky byly měřeny za teplot 23 ± 1, 40, 55, 70, 85 a 100 °C, vždy 5x po sobě. Po dosažení požadovaných teplot se vzorek teplotně stabilizoval po dobu 30 min. Měření jednoho vzorku trvalo přibližně 5 hodin.

Frekvenční závislosti relativní permitivity a ztrátového činitele byly zkoumány na dielektrickém impedančním analyzátoru firmy Novocontrol Technologies. Vzorky byly měřeny při napětí 1 V, na frekvenčním rozsahu od 10 Hz do 1 MHz a pro teploty od 25 do 100 °C.

4. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Na obrázku 1 je graficky porovnávána závislost relativní permitivity a ztrátového činitele epoxidové sady 1851 na teplotě změřená před dvěma lety (roku 2016) a nyní (v roce 2018). Červenou barvou jsou označeny průměrné hodnoty naměřené na všech pěti vzorcích dané epoxidové sady začátkem roku 2016. Zelenou barvou jsou označeny hodnoty naměřené na konkrétním vzorku 1 z kraje roku 2016. Modrá barva znázorňuje hodnoty získané opakovaným měřením na vzorku 1 po uplynutí dvou let (bez vysušení). Žlutá barva je charakteristická pro měření na již zmíněném konkrétním vzorku 1 v roce 2018, ale po vysušení (90 °C, 3 dny).

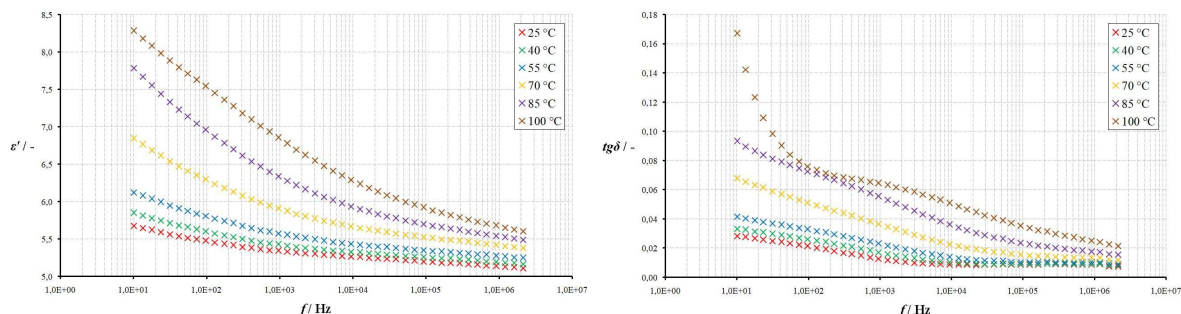


Obrázek 1: Závislost relativní permitivity (vlevo) a ztrátového činitele (vpravo) na teplotě epoxidové sady 1851 při napětí 500 V a frekvenci 50 Hz

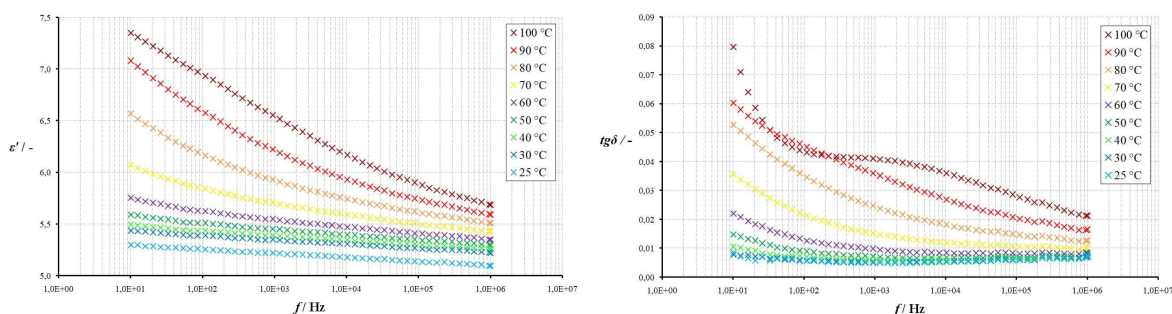
Z grafu na obrázku 1 lze vidět, že relativní permitivita exponenciálně roste v závislosti na teplotě. V uvedeném teplotním rozsahu dosahuje nejnižších hodnot relativní permitivity (3,9 - 5,2) vzorek 1 epoxidové sady 1851 po vysušení (označen žlutě). Významnou roli zde hraje vlhkost. Pryskyřice mohou absorbovat vodu až do několika procent své vlastní váhy, jsou velmi citlivé na vlhko. Absorpce vody způsobuje změny v materiálu a vede ke zhoršení elektrických vlastností (vyšší ztrátový činitel, nižší vnitřní rezistivita), jev je podrobněji popsán v článku [3]. Epoxidy uskladněné

za běžných podmínek (při teplotě 20 - 25 °C a relativní vlhkosti 30 - 50 %) navlhají, následkem toho se zvyšující se teplotou strmě stoupá ztrátový činitel (při 100 °C je roven 0,13 - označen modře) a výrazně klesá hodnota vnitřní rezistivity (graf zde není uveden). Opačných výsledků bylo dosaženo po vysušení daného vzorku (žlutá barva), kdy se ztrátový činitel v celém teplotním rozsahu (25 - 100 °C) snížil z původních 0,03 - 0,13 na 0,01 - 0,05.

Vliv vlhkosti je možné pozorovat i ve frekvenčním spektru, viz obrázek 2 (nevysušené vzorky) a obrázek 3 (vzorky po vysušení - 90 °C, 3 dny). Z grafů je vidět, že se snižující se frekvencí a rostoucí teplotou se zvyšují hodnoty složek komplexní permitivity i ztrátového činitele.



Obrázek 2: Závislost relativní permitivity (vlevo) a ztrátového činitele (vpravo) na frekvenci epoxidové sady 1851 při napětí 1 V a rozsahu teplot 25 - 100 °C, nevysušené vzorky



Obrázek 3: Závislost relativní permitivity (vlevo) a ztrátového činitele (vpravo) na frekvenci epoxidové sady 1851 při napětí 1 V a rozsahu teplot 25 - 100 °C, vysušené vzorky

PODĚKOVÁNÍ

Publikace vznikla za finanční podpory projektu specifického výzkumu na VUT (projekt č. FEKT-S-17-4595, Materiály a technologie pro elektrotechniku III).

REFERENCE

- [1] LIDAŘÍK, Miloslav. *Epoxidové pryskyřice*. Třetí, přepracované a rozšířené vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983. Makromolekulární látky. 729 s.
- [2] ČSN IEC 250. *Doporučené postupy ke stanovení permitivity a ztrátového činitele elektroizolačních materiálů při průmyslových, akustických a rozhlasových kmitočtech včetně metrových vlnových délek*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 30 s.
- [3] HARVÁNEK, L., TOMÁŠKOVÁ, T., SVOBODA, M., MENTLÍK, V. *Composites with nanosilica* [online]. IEEE 11th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM), Sydney, Australia, 2015. [cit. 2018-03-10]. ISBN: 978-1-4799-8903-4. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7295404>